BETONKORRÓZIÓ

Dr. Kausay Tibor



VEGYSZERES



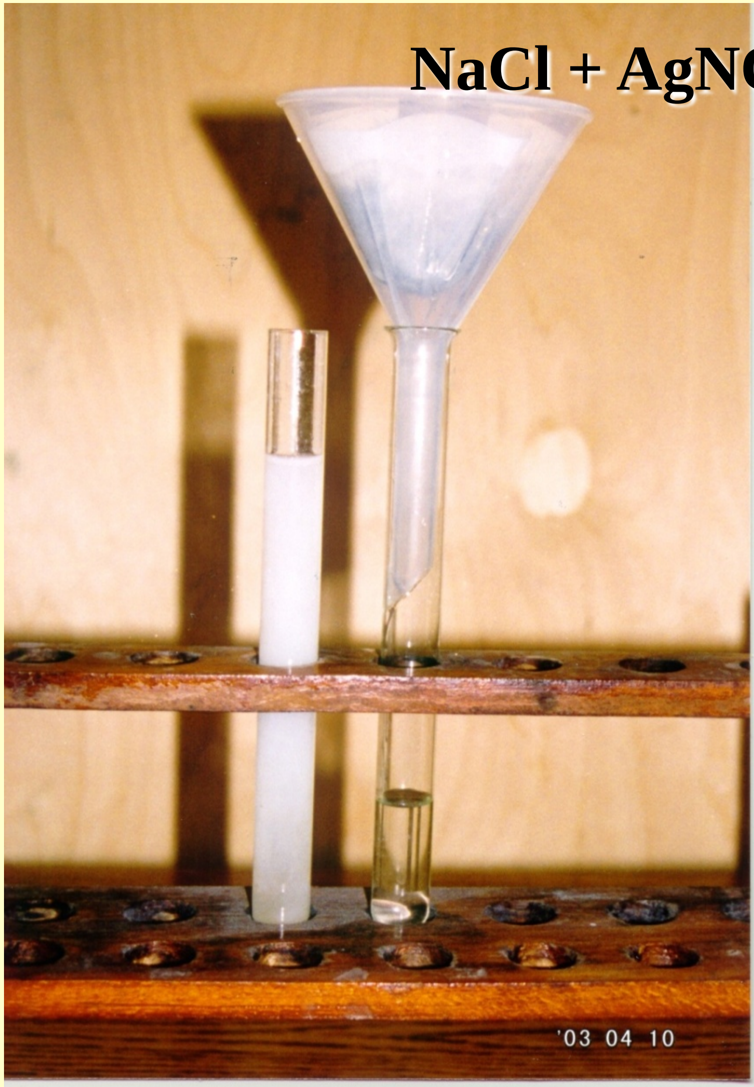
KVALITATÍV VIZSGÁLATOK

Kloridok

(például jégolvasztó-só) kimutatása 2 %-os salétromsavban feloldott beton-pormintából



$$NaCl + AgNO_3 = AgCl + NaNO_3$$





A salétromsavas oldatot leszűrjük, és a szűrlethez ezüst-nitrát oldatot adunk. Ha a szűrlet az ezüst-nitrát oldattól opálosodik, akkor a porminta kloridionokat tartalmaz.

AZ MSZ 4798 betonszabvány táblázata

A beton alkalmazása	**Klorid-tartalom-osztály [a]**	**A legnagyobb Cl^--tartalom a cement-*tartalom* tömegszázalékában [b]**
Nem tartalmaz acélbetétet vagy más beágyazott fémet, kivéve a korrózióálló emelőfüleket	**Cl 1,0**	**1,0%**
Acélbetétet vagy más beágyazott fémet tartalmaz	**Cl 0,20**	**0,20%**
	Cl 0,40 [c]	**0,40% [c]**
Feszített acélbetétet tartalmaz	**Cl 0,10**	**0,10%**
	Cl 0,20 [c]	**0,20% [c]**

[a] Különleges betonfelhasználás esetén az alkalmazott osztály függ a beton felhasználási helyén érvényes utasításoktól.

[b] Ha II típusú kiegészítőanyagot alkalmazunk, és ezt beszámítjuk a cementtartalomba, akkor a cement + teljes mennyiségű kiegészítőanyag tömegszázalékában kifejezett kloridion az a *klorid-tartalom*, amelyet számításba kell venni. ➔

[c] Kizárólag nedvességtől elzárt térben lévő szerkezetek esetén szabad megengedni.

Részlet az MSZ 4798-1:2004 betonszabványból:

3.1.23. KIEGÉSZÍTŐANYAG

A betonban annak érdekében használt, és *a keverési folyamat* során *adagolt* finom szemű anyag, hogy a beton egyes tulajdonságai javuljanak vagy különleges feltételeknek feleljen meg. E szabvány a szervetlen kiegészítőanyagok két fajtájával foglalkozik:

- **közel inert (kémiai reakcióba nem lépő) kiegészítőanyagok (I. típus), mint például a mészkőliszt,**
- **kötési folyamatban résztvevő, puccolános, például a trasz vagy latens hidraulikus, mint például a hidraulikus kohósalak, a savanyú pernye, a savanyú szilikapor, a ritkán előforduló bázikus pernye kiegészítőanyagok (II. típus).**

Emlékeztetünk arra, hogy a nátrium-klorid olvasztósó jégolvasztó hatásáról itt olvashat:
http://www.betonopus.hu/szakmernoki/174-olvasztoso.pdf

Az utólagosan kloridionnal szennyezett betonok tartósságának elméleti kérdéseit *dr. Balázs György* 1996-1999 között kutatta.

Kloridoknak ellenálló vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek környezeti osztályai az MSZ 4798 szabvány alapján

Kloridoknak ellenálló beton környezeti feltételei	Környezeti osztály jele	Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább	Beton cement-tartalma, legalább, kg/m³	Beton víz-cement tényezője, legfeljebb	Friss beton levegő-tartalma, legfeljebb, térfogat%
Kloridoknak ellenálló vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek					
Mérsékelten nedves helyen, levegőből származó kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton	XD1	C30/37	300	0,55	2,0
	Például: Vegyipari üzemek környezetében, a szabadban lévő szerkezetek				
Nedves, ritkán száraz helyen, vízben lévő kloridoknak kitett, de jégolvasztó sóknak ki nem tett, korrózióálló beton (úszómedencék, ipari vizek hatása)	XD2	C30/37	300	0,55	2,0
	Például: Alépítmény, szárnyfal, klorid-tartalmú talajvízzel vagy ipari vízzel érintkező építmény, medence, úszómedence				
Váltakozva nedves és száraz helyen, jégolvasztó kloridok permetének kitett korrózióálló beton (hídelemek, járdák, útburkolatok)	XD3	C35/45	320	0,45	2,0
	Magyarországon a fagy/olvadási ciklusoknak és jégolvasztó sóknak kitett betonokat az XD3 környezeti osztály helyett az XF4 környezeti osztályba kell sorolni				

Karbonátosodás vizsgálata fenolftalein oldattal



A fenolftalein ún. sav-bázis indikátor

Ha a karbonátosodás eléri a betonacélt, akkor annak megszűnik a lúgos környezete, és nedvesség + levegő jelenlétében el kezd korrodálni, mert pH = 9,0-9,5 érték alatt az acél felületének kvázi monomolekuláris védőrétege megbomlik.

A rozsda móltérfogata akár 5-6-szorosa is lehet az acélénak, ezért a környező betonra feszítőleg hat.

További megjegyzés:

A karbonátosodott zónában a klorid-ion (pl. jégolvasztó-só) a cementkőben nem kötődik meg, és a klorid nedvszívó hatása folytán növekszik a víztartalom.

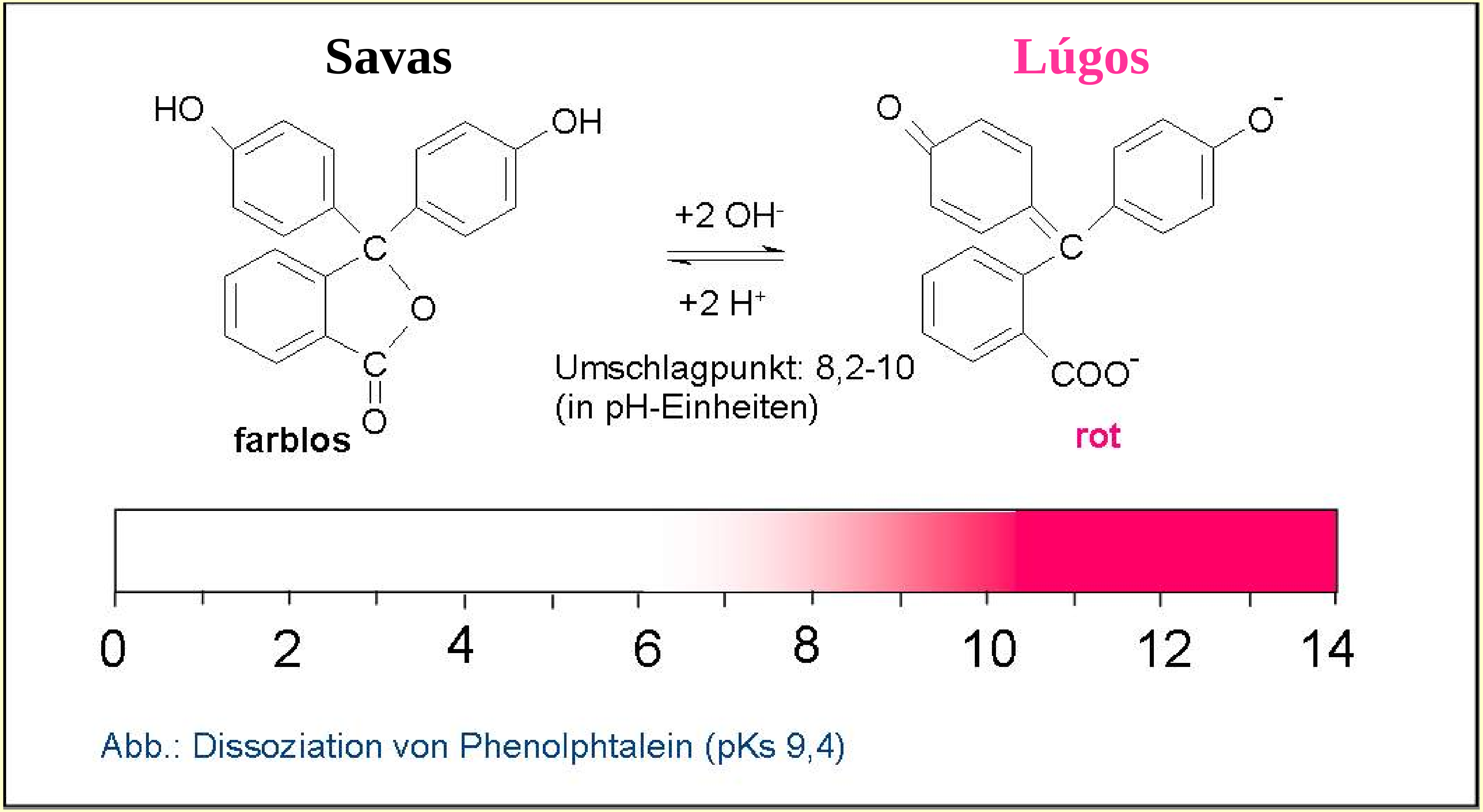
Fogalom-meghatározás:

Minden cementkő tartalmaz szabad kalcium-hidroxidot. A beton felszíne érintkezik a levegővel, és a felszín közelében a cementkő szabad kalcium-hidroxid-tartalma a levegő szén-dioxid-tartalmával először kalcium-hidrokarbonáttá, majd víz felszabadulása közben semleges kémhatású kalcium-karbonáttá alakul:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

A beton friss törésfelületét alkoholos fenolftalein oldattal ecseteljük. Az oldat hatására a beton törésfelületének nem-karbonátosodott, azaz lúgos kémhatású, mintegy 9 pH értéknél (nagyobb) bázikusabb része lila (kárminvörös) színűre változik. A beton felszínéhez közeli, színét nem változtató része karbonátosodott, és ebből a karbonátosodás mélysége megállapítható.

Magyarázat: A fenolftalein [$C_{20}H_{12}O_2(OH)_2$] színtelen, szagtalan, ízetlen por. Vízben nem oldódik. Lúgok sóképzés közben oldják. Lúgos oldata kárminvörös, savas és semleges közegben színtelen.

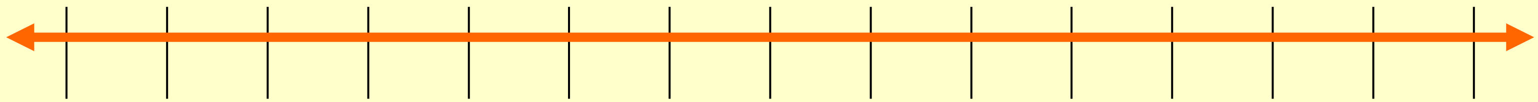


http://www.chempage.de/lexi/phenolphthalein.htm

Savas **Lúgos**

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

$[H_3O^+]$ 10^0 10^{-7} 10^{-14}



pH 0 7 14

acidic neutral basic

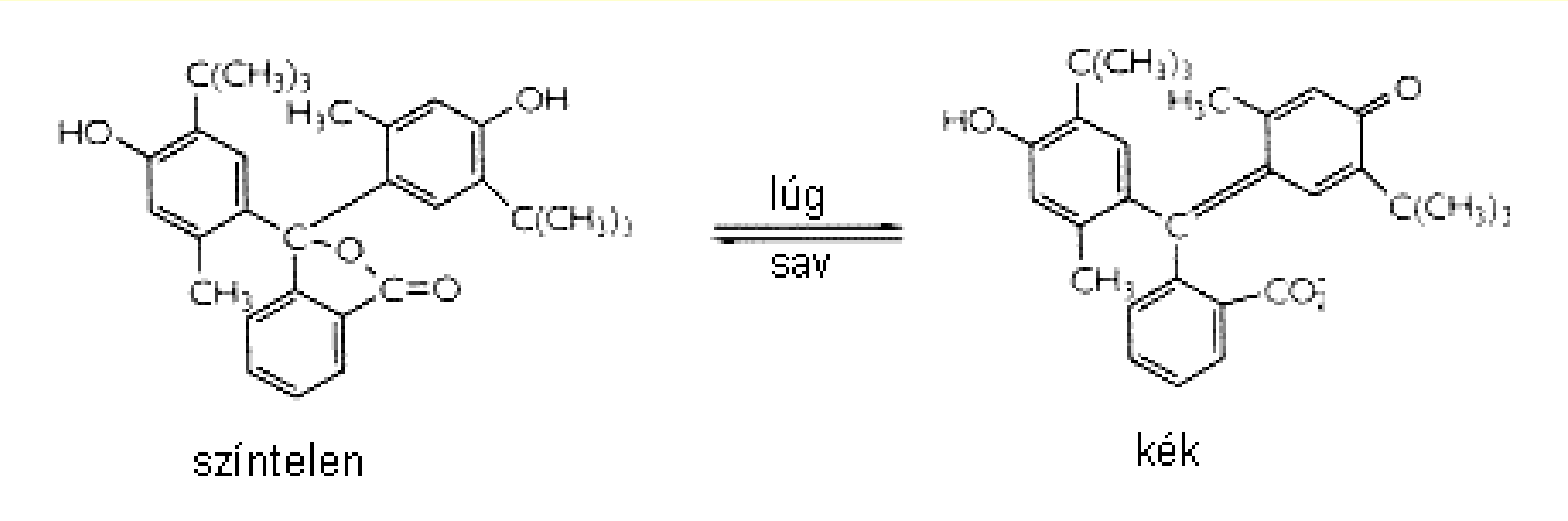
pH skála



Sav-bázis indikátorok színátcsapása ***(Ebbing: General Chemistry, 1987)***


3A.
2008/3/10 12:01

Az alkoholos fenolftaleinnél megbízhatóbb módon lehet a karbonátosodási mélységet kimutatni alkoholban oldott timolftaleinnel:



Savas **Lúgos**

Lúgos oldatban, ha a pH 10 vagy annál nagyobb, a timolftalein kék. Ha a pH 10 alá csökken (azaz a beton karbonátosodott, elvesztette lúgosságát), akkor a timolftalein színtelenné válik.

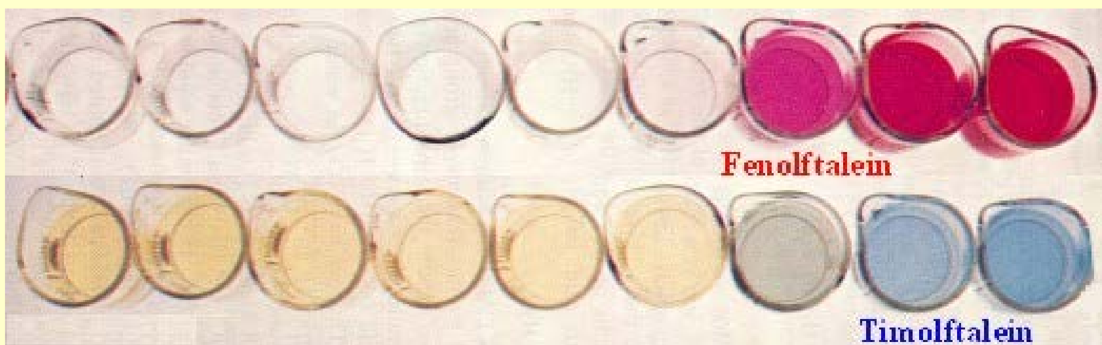
KARBONÁTOSODOTT **Nem karbonátosodott**

$pH = -\log [H_3O^+]$

$[H_3O^+]$ **10^0** **10^{-7}** **10^{-14}**

pH **0** **7** **8** **9** **10** **11** **14**

acidic **neutral** **basic**



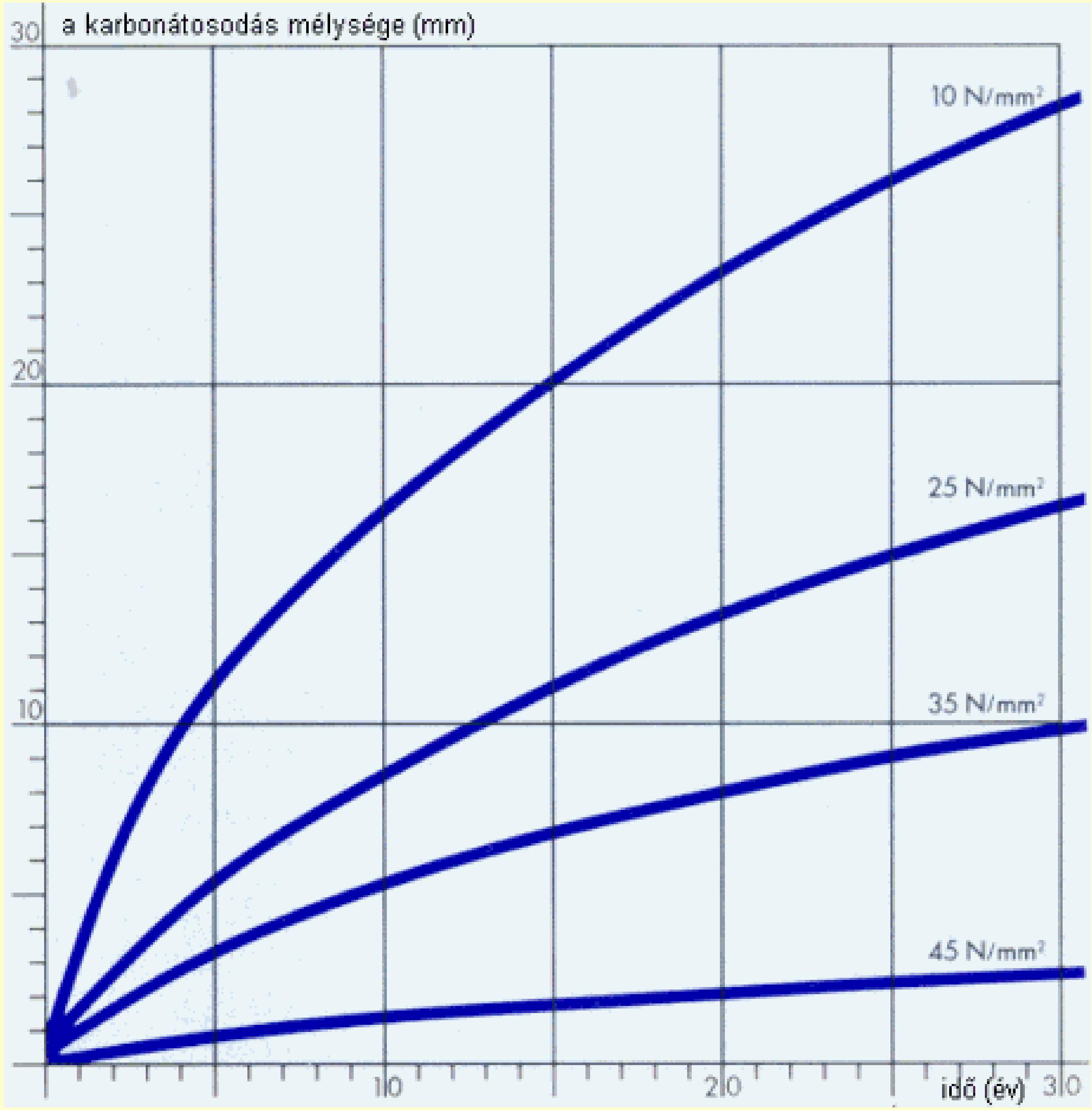
Tehát az alkoholos timolftalein már pH 10 alatt jelzi a kerbonátosodás veszélyét, míg az alkoholos felolftalein csak pH 9 alatt.

pH skála


2008/3/3 13:13
Leváló félben lévő betonfedés

A karbonátosodás mélysége az idő és a beton átlagos nyomószilárdsága függvényében

Forrás:
http://www.geniusmbt.hu/szakcikkek/korrvedelem/korrozvedelem.htm



Környezeti osztály	Minimális betonfedés (MSZ 4798) c_{min}, mm		Tűrés (kötelező ráhagyás) (MSZ 4798) Δc, mm
	Betonacél	Feszítőbetét	
XC1	10	20	10
XC2 – XC3	20	30	15
XC4	25	35	15
XS1 – XS3 XD1 – XD3 XF1 – XF4 XA1 – XA3 XF2(H)-XF3(H) XK1(H) – XK4(H) XV1(H) – XV3(H)	40	50	15

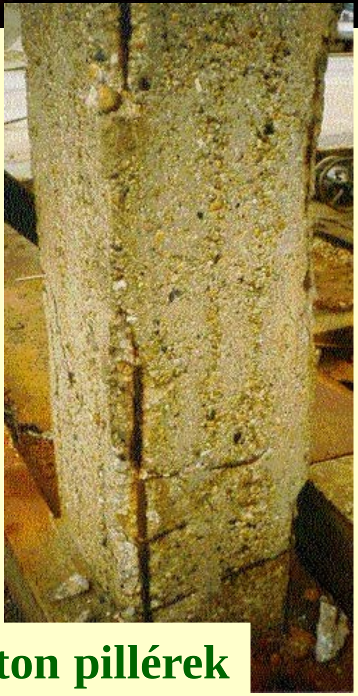
Jel	Környezeti hatás	
XC1	**Karboná- tosodási korrózió hatása**	**Száraz vagy tartósan nedves környezet**
XC2 – XC3		**Nedves, ritkán száraz – Mérsékelten nedves**
XC4		**Váltakozva nedves és száraz**
XS1 – XS3	**Tengervízből származó kloridok korróziós hatása**	
XD1 – XD3	**Nem tengervízből származó kloridok korróziós hatása**	
XF1	**Fagy- és olvasztósó hatása**	**Mérsékelt víztelítettség, jégolvasztó sózás nélkül, légbuborékképzőszer nélkül**
XF2		**Mérsékelt víztelítettség, jégolvasztó sózással, légbuborékképzőszerrel**
XF3		**Nagy víztelítettség, jégolvasztó sózás nélkül, légbuborékképzőszerrel**
XF4		**Nagy víztelítettség, jégolvasztó sózással, légbuborékképzőszerrel**
XF2(H)–XF3(H)		**Jégolvasztó sózással és anélkül, légbuborékképzőszer nélkül**
XA1 – XA6(H)	**Kémiai korrózió, például szulfátkorrózió hatása**	
XK1(H)–XK4(H)	**Kopásállóság igénye**	
XV1(H)–XV3(H)	**Vízzáróság igénye**	



Vasbeton gerenda, korrodált betonacéllal, már betonfedés nélkül







Korrodált vasbeton pillérek



Korrodált vasbeton gerendák

Zárójeles megjegyzés:

Egyéb, a beton korróziójával kapcsolatos kémiai vizsgálatok:

- **Izzítási veszteség vizsgálata (a szerves anyag tartalom meghatározására) 1000 °C-on: MSZ EN 196-2:1996**
- **10 %-os sósavban oldható rész (a cement-tartalom meghatározására): MSZ EN 196-2:1996**
- **Szulfátion-tartalom: MSZ EN 196-2:1996**
- **A beton kellő biztonsággal megengedhető szulfátion-tartalma: 0,6 tömeg%**
- **Nitrátion-tartalom: MSZ 21976-8:1982**


Savas oldás
(cement-tartalom meghatározásra)
2008/3/18 14:11



Oldhatatlan maradék

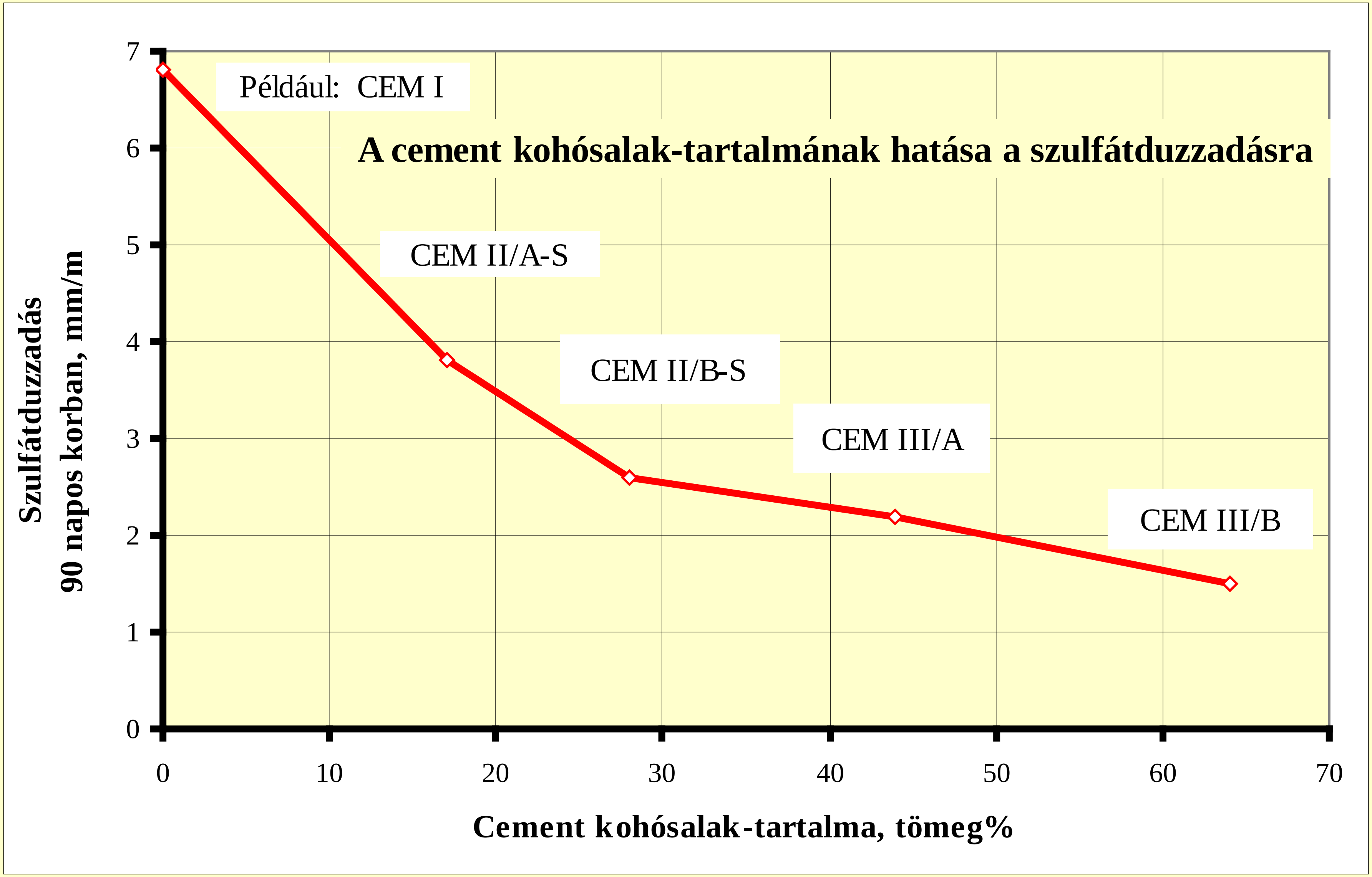
Betonok szulfát (duzzadásos) korróziója

Szulfátos talajvíz hatására a szilárd cementkő monoszulfát összetevőjéből (egyik trikalcium-aluminát-hidrát fázis) *másodlagos ettringit képződés* indul el. A másodlagos ettringit kikristályosodása során a térfogatát mintegy 2,5-szeresére növeli, és ezeknek a kristályoknak a jelentős duzzadása a betont szétrepeszti. Ezeket a tűkristályokat cementbacilusnak is nevezik.

Duzzadásos betonkorróziót **okoz a *talajvíz* ≥ 200 mg/liter SO_4^{2-} tartalom esetén és a *talaj* 2000 mg/kg összes SO_4^{2-} tartalom esetén (a határértékek megegyeznek az EN 206-1:2000 szabvány 2. táblázata szerinti, az XA1 környezeti osztályra vonatkozó értékekkel).**

Szulfátos betonduzzadást okozhat a csatornákban a szennyvíz kéntartalmú szerves anyagainak rothadásából képződő kénhidrogén-gáz, amely baktériumok vagy szén-dioxid hatására szulfáttá oxidálódik (kénessav, kénsav).

Minél több a cementben a trikalcium-aluminát-hidrát fázis, annál kevésbé szulfátálló, és annál hajlamosabb a szulfátos duzzadásra.



Forrás: ***Csatai R. – Kovács J. – Sas L.*: „Szennyvíztisztítók, termény és trágyatárolók betonjai CEM III/B 32,5 N-S szulfátálló kohósalakcementtel” című előadás a Magyar Betonszövetség 2010. május 28-án tartott konferenciáján**

Betonok oldódásos korróziója

Oldódásos betonkorróziót okoz a *talajvíz* ≤ 6,5 pH érték, ≥ 15 mg/liter CO_2 tartalom, ≥ 15 mg/liter NH_4^+ tartalom, ≥ 300 mg/liter Mg^{2+} tartalom és °dH = 0-3 közötti keménység (lágyvíz) esetén, *a talaj* > 200 ml/kg savasság esetén (a határértékek lényegében megegyeznek az EN 206 szabvány 2. táblázata szerinti, az XA1 környezeti osztályra vonatkozó értékekkel, a talajvíz keménysége csak az osztrák XA1L környezeti osztály jellemzője).

A cement bázikus anyag, ezért a különböző cementek majdnem minden összetevője savban oldható, így a cementkövet a szerves és szervetlen savak általában megtámadják. A cementkő bonyolult meszes fázisait a savak vízoldható fázisokká alakítják, amelyek vizes és az atmoszférikus hatásokra lebomlanak, oldódnak.

Szennyvizek megengedett CO_2 tartalma a talajvizekre előírt értéknél kisebb. A szennyvíz és a tisztításából eredő CO_2 tartalma együttes mennyisége az osztrák XA2L környezeti osztályban legfeljebb 60 mg/liter, az XA3L környezeti osztályban legfeljebb 100 mg/liter lehet.

Oldódásos betonkorrózió esetén a határértékek betartása mellett is számolni kell a beton felületén a cementkő réteg kopására.

Környezeti osztályok a természetes talaj és talajvíz kémiai korróziót okozó jellemző értékeitől függően, MSZ 4798 szabvány 2. táblázata

Kémiai jellemző	Környezeti osztály		
	XA1	XA2	XA3
Talajvíz			
SO_4^{2-}, mg/l	≥ 200 és ≤ 600	> 600 és ≤ 3000	> 3000 és ≤ 6000
pH	≤ 6,5 és ≥ 5,5	< 5,5 és ≥ 4,5	< 4,5 és ≥ 4,0
agresszív CO_2 mg/l	≥ 15 és ≤ 40	> 40 és ≤ 100	> 100 telítésig
NH_4^+, mg/l	≥ 15 és ≤ 30	> 30 és ≤ 60	> 60 és ≤ 100
Mg^{2+}, mg/l	≥ 300 és ≤ 1000	> 1000 és ≤ 3000	> 3000 telítésig
Talaj			
SO_4^{2-} összes, mg/kg	≥ 2000 és ≤ 3000	> 3000 és ≤ 12000	> 12000 és ≤ 24000
Savasság, ml/kg	> 200 Baumann Gully	A gyakorlatban nem fordul elő	

Talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek környezeti osztályai az MSZ 4798 szabvány alapján

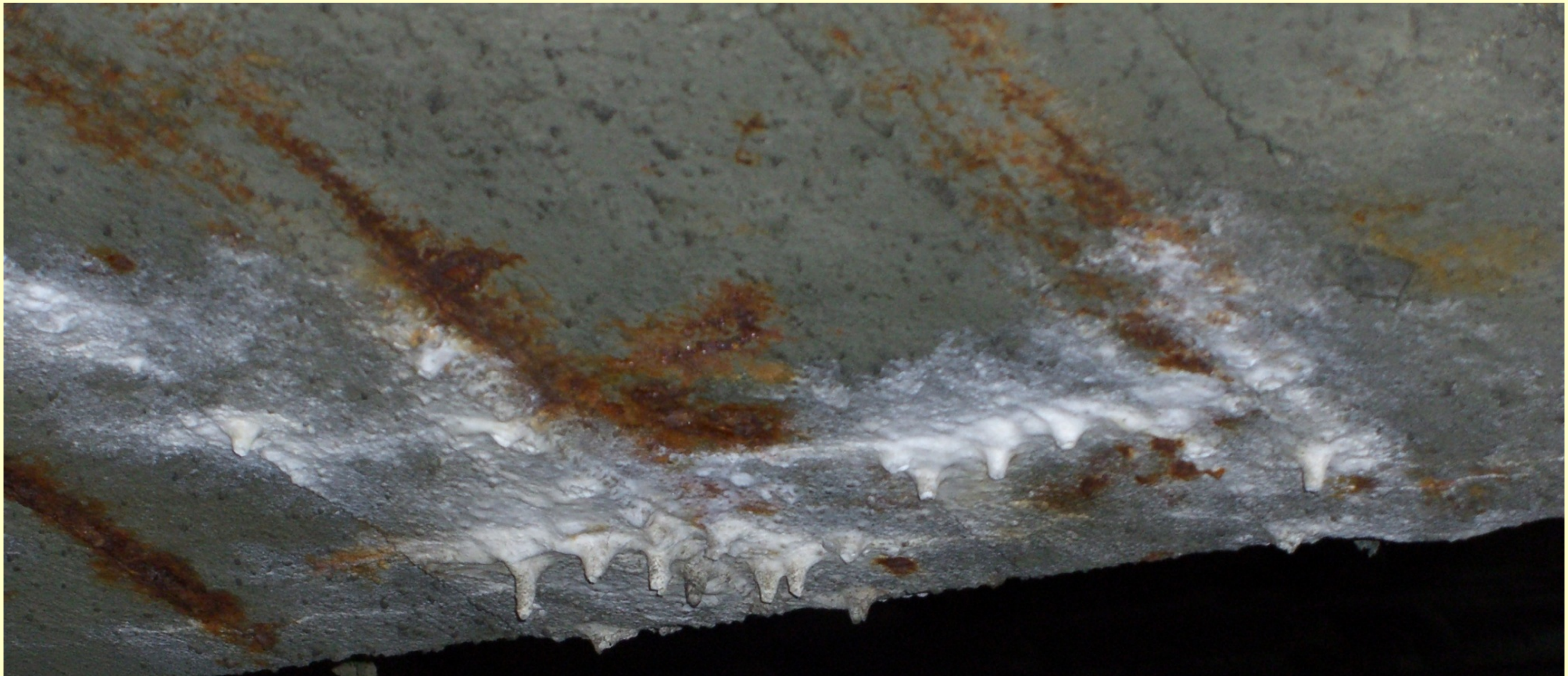
<table>
<tr><th>Talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton környezeti feltételei</th><th>Környezeti osztály jele</th><th>Beton nyomó-szilárdsági osztálya, legalább</th><th>Beton cement-tartalma, legalább, kg/m³</th><th>Beton víz-cement tényezője, legfeljebb</th><th>Friss beton levegő-tartalma, legfeljebb, térfogat%</th></tr>
<tr><td colspan="6">Talaj és talajvíz kémiai korróziójának ellenálló beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, enyhén korrózióálló beton</td><td>XA1</td><td>C30/37</td><td>300</td><td>0,55</td><td>2,0</td></tr>
<tr><td colspan="5">Bármely MSZ EN 197-1:2000 szerinti CEM II fajtájú kohósalakportlandcement
Például: Fúrt cölöp</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, mérsékelten korrózió- és szulfátálló beton</td><td>XA2</td><td>C30/37</td><td>320</td><td>0,50</td><td>2,0</td></tr>
<tr><td colspan="5">MSZ 4737-1:2002 szerinti MS jelű mérsékelten szulfátálló vagy S jelű szulfátálló portlandcement
vagy CEM III/A fajtájú MS jelű kohósalakcement
vagy CEM III/B szulfátálló kohósalakcement
Például: Fúrt cölöp</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező, erősen korrózió- és szulfátálló beton</td><td>XA3</td><td>C35/45</td><td>360</td><td>0,45</td><td>2,0</td></tr>
<tr><td colspan="5">MSZ 4737-1:2002 szerinti S jelű szulfátálló portlandcement vagy CEM III/B fajtájú szulfátálló kohósalakcement
Például: Fúrt cölöp, agresszív anyagok tárolótere</td></tr>
</table>

Az agresszív talajjal vagy talajvízzel érintkező betonok környezeti osztályának jele: XA1, XA2, XA3 (MSZ 4798-1).

Az XA1 környezeti osztályban valamennyi MSZ EN 197-1 szerinti CEM II fajtájú kohósalakportlandcement alkalmazható.

Az XA2 környezeti osztályban az MSZ 4737-1 szerinti MS jelű mérsékelten szulfátálló portlandcementet, vagy S jelű szulfátálló portlandcementet (pl. CEM I 32,5 R-S), vagy CEM III/A fajtájú MS jelű kohósalakcementet (pl. CEM III/A 32,5 N-MS), vagy CEM III/B szulfátálló kohósalakcementet (pl. CEM III/B 32,5 N-S);

az XA3 környezeti osztályban az MSZ 4737-1 szerinti S jelű szulfátálló portlandcementet (pl. CEM I 32,5 R-S), vagy CEM III/B fajtájú szulfátálló kohósalakcementet kell alkalmazni.



A porózus, megrepedt betonba, vasbetonba hatoló esővíz (savas eső) oldja a cementkő meszes összetevőit, a beton szabad kalcium-hidroxid tartalmát, amitől a beton porozitása e zónában tovább növekszik, a szilárdsága csökken. A bomlástermékek (gipsz, kalcium-karbonát stb.) vízben oldódnak, a beton kiszáradásakor ezeket a víz a beton felületére juttatja, de cseppkő alakjában gravitáció hatására is megjelenhetnek a felületen. A víz párolgásával a bomlástermékek a felületen a pórusszerkezetbe jutnak. Ettől a felületen több centiméter vastag, kevéssé porózus kéreg is képződhet, amely idővel lehullik a fellazult, kötőanyagban szegény alapról.

2009/11/5 13:02



Esőtől átázott, szabadban lévő (hídfő) vasbeton lépcsőkar


2009/11/5 13:05


Lecseppenő vízcsepp,
a csepegést
folyamatában
is megtekintheti,
ha e képre
kattint

Az ásványi olajok és származékaik - ha tisztításuk megfelelő - nem tartalmaznak savakat, ezért sav okozta korrózió szempontjából a betonokra nézve általában veszélytelenek.

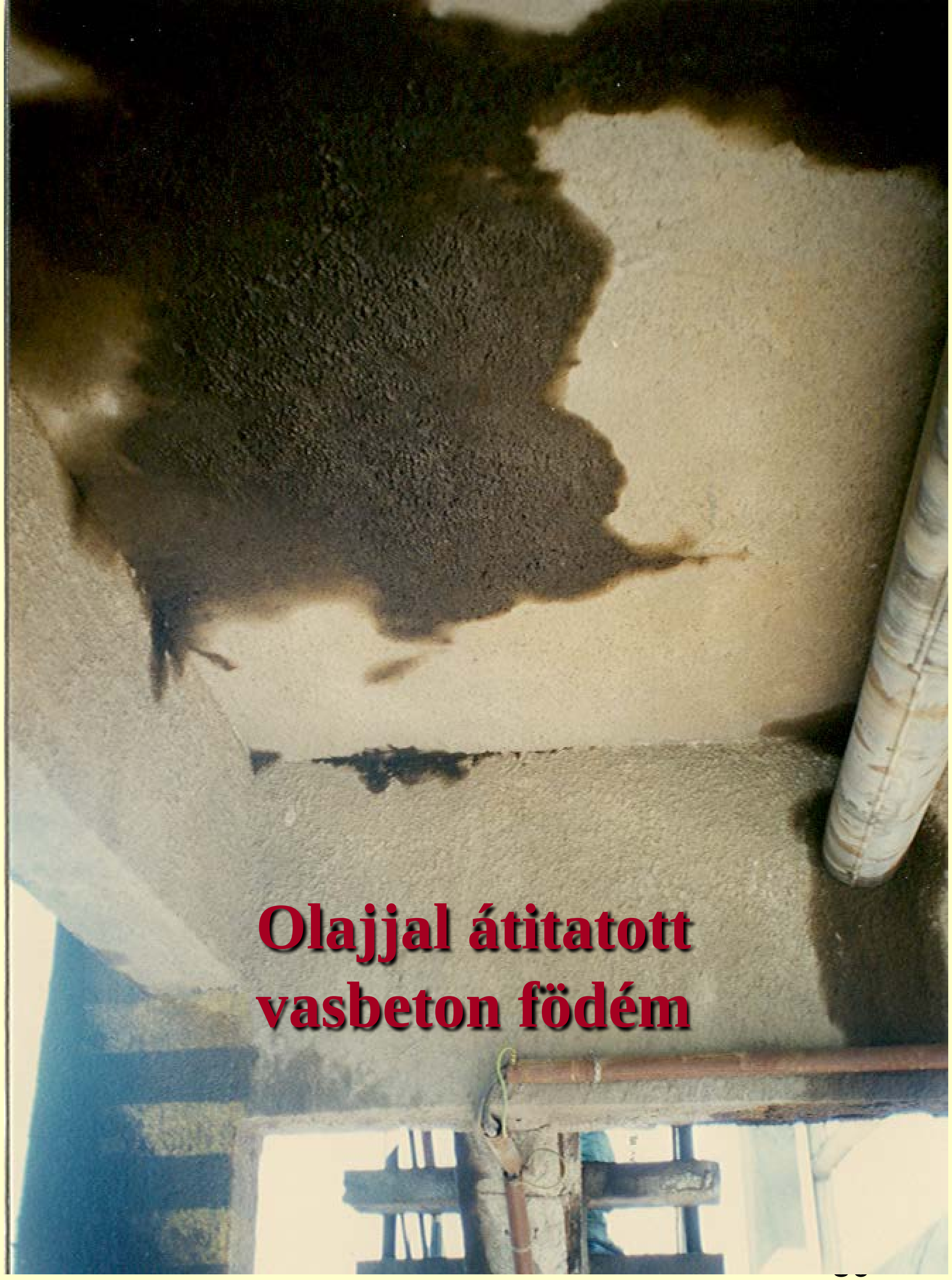
A petróleum, benzol, benzin sem károsítja a betont, ha nem tartalmaz savat, fenolt - a fenol vizes oldata a karbolsav (C6H5OH) gyengén savas kémhatású - vagy nem válhat savas kémhatásúvá.

Ezeknek a tiszta ásványolaj származékoknak nincs olyan összetevője, amely a megszilárdult betonra kémiailag hatna.

A magas fenol-tartalmú ásványolajok és a betonban lévő szabad mész egymásra hatásából kalcium-fenolat keletkezik. A kalcium-fenolat hosszú, tűszerű kristályai eleinte tömítik a beton pórusait, de később, amikor növekednek, repesztő hatásuknál fogva - hasonlóan a gipszhez - károsodást okoznak. Ha az ásványolaj fenol tartalma csekély, akkor ez a hatás nem számottevő, mert a kalcium-fenolat hidrátvíz nélkül kristályosodik, és ezért a térfogata csak mérsékelten növekszik.

A kis viszkozitású, hígan folyó olajok akkor veszélyesek a betonra, ha a betont átitatják, és ezzel a beton szilárdságát csökkentik.

Forrás: ***Biczók Imre*****: „Betonkorrosion – Betonschutz", Akadémiai Kiadó – Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1960.**



Kis viszkozitású, hígan folyó olajok akkor veszélyesek a betonra, ha a betont átitatják és ezzel a beton szilárdságát csökkentik.

A magas fenol-tartalmú ásványolajok és a betonban lévő szabad mész egymásra hatásából kalcium-fenolat keletkezik. A kalcium-fenolat hosszú, tűszerű kristályai eleinte tömítik a beton pórusait, de később, amikor növekednek, repesztő hatásuknál fogva - hasonlóan a gipszhez - károsodást okoznak. Ha az ásványolaj fenol tartalma csekély, akkor ez a hatás nem számottevő, mert a kalcium-fenolat hidrátvíz nélkül kristályosodik, és ezért a térfogata csak mérsékelten növekszik.





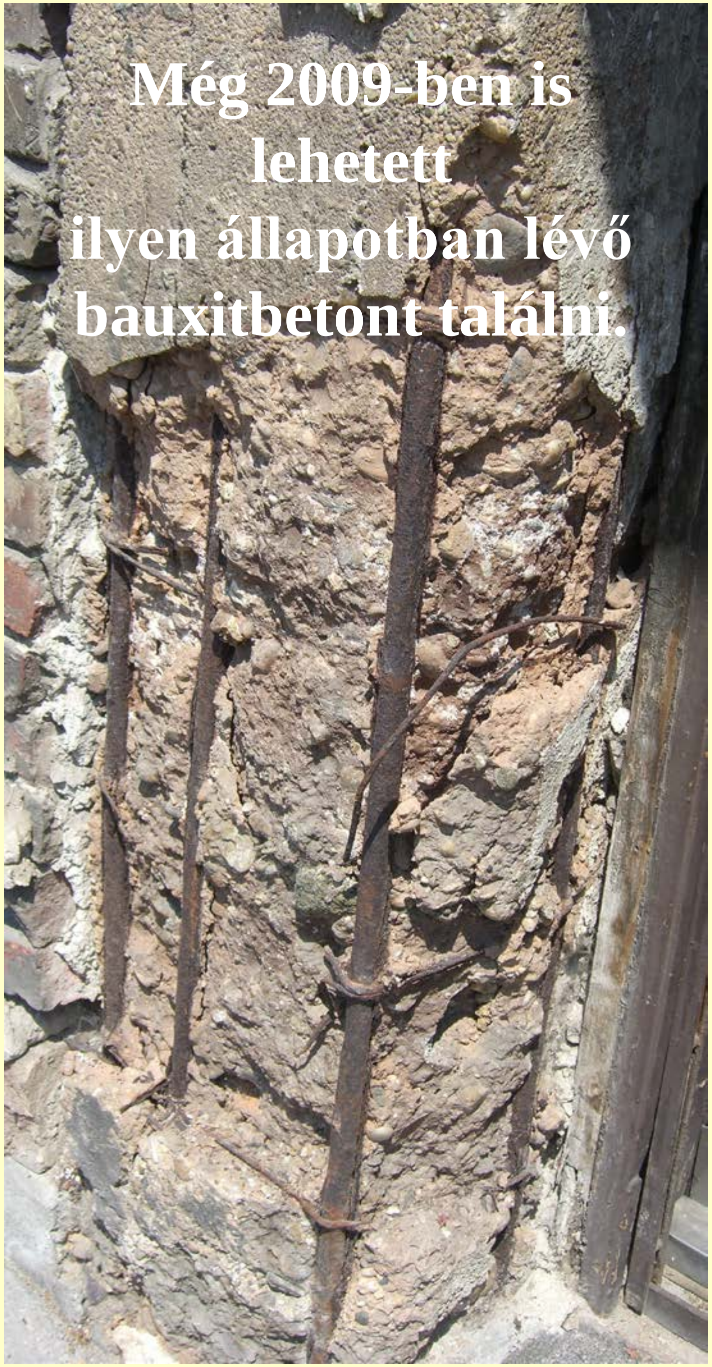
http://www.betonopus.hu/notesz/bauxitbeton.pdf

Tessék szíves ↑ ide ↑ kattintani.

Bauxitbeton épületszerkezetek felülvizsgálata során (XX. század utolsó harmada) a *Schmidt*-kalapácsos vizsgálatot sokszor követte magminták kifúrása roncsolásos nyomószilárdság vizsgálat céljára



Bauxit-vasbeton pillér





Bauxitbeton fúrásmag

Szörnyű állapotban lévő bauxit-vasbeton tartó, elvékonyodott betonacéllal



A fénykép 1985-ben készült, az épületet azóta átépítették.

IPARI ÉS KÖZLEKEDÉSI ÉPÍTMÉNYEK VASBETONJÁNAK KORRÓZIÓJA

Az ipari vasbeton magasépítmények többnyire szennyezett légtérben álló, nagy felületű létesítmények, amelyek ma már szinte kivétel nélkül csúszózsaluzatos technológiával épülnek, és javításuk alpinista módszerrel történik.

Az ipari magasépítmények korábban a mai C16/20 nyomószilárdsági osztályúnak megfelelő betonnál jobból ritkán készültek.

Falazatukat a tekintélyes méretek és a csúszózsaluzatos építésmód mellett nem (volt) könnyű kifogástalanul tömöríteni, több körülmény is nehezíti (nehezítette) a folyamatos zsaluemelést. A betonfészkek és kényszerű munkahézagok korróziós gócokat képeznek (képeztek)!

A **vasbeton gabonasilók** szemes és zsákolt termények tárolására alkalmas tárházak. A silócellák száma akár 18 darab, magassága 42 m, átmérője 7 m, a szabadra néző palástfelület mintegy 7400 m^2 is lehet.

A gabonasilók korróziós károsodásai a csapóeső hatására keletkeznek. Ha a silófalak átnedvesednek, akkor a gabona nedvességtartalma megnő, befülled, sőt a cellafalra fel is tapadhat.

A beázás a siló vasbeton szerkezetének korróziója miatt sem engedhető meg.



Gyárkémény vasbeton fedkoszorúja







A vasbeton gyárkémények magassága a 250 m-t is elérheti.

A nagy kén-tartalmú füstgázok hőmérséklete mintegy 80 °C, a belső szigetelés alatt a betonfal belső oldalán 40 °C hőmérséklettel kell számolni.

A füstgázok a kémény külső felületén felül, a belső felületen a szigetelési hibáknál és a belső térben alul – ahol a forró füstgázok kondenzációjából keletkező savas folyadék összegyűlik – okozhatnak betonkorróziót: a füstgázok szén-dioxid- és kén-dioxid-tartalma a párát és vizet a betonra veszélyes savas kémhatásúvá teszi, a szénsav hatására a kalcium-karbonát vízben oldódó kalcium-dihidrogén-karbonáttá alakul, a kénsav hatására a kalcium-karbonátból duzzadó gipsz-kristályok keletkeznek.

Ha a füstgázban nitrogén is jelen van, akkor ammónium-szulfát képződhet, amely a portlandcementre igen veszélyes só.

***Meg kell jegyezni*, hogy az ipari termelés, a közúti közlekedés stb. fokozódása következtében az utóbbi időkben a levegő szennyezettsége általában is megromlott.**

A jelenséget és következményeit *dr. Balázs György* és *Csányi Erika* tanulmányozta, és megállapításaikat „A levegő szennyezettségének hatása a vasbeton tartósságára" című folyóiratcikkben (Vasbetonépítés, 2001. 3. szám, pp. 89-94.) tették közzé. Eszerint:

A légköri kénvegyületek közül legnagyobb a kén-dioxid (SO_2) mennyisége, melynek 60-70 %-a származik emberi tevékenységből (széntüzelésű erőművek, kohászat, kénsavgyártás, cementgyártás, kőolaj feldolgozás stb.). A levegőben előfordulnak egyéb kénvegyületek is, de azok könnyen átalakulnak kén-dioxiddá, ill. kénessavvá, majd kénsavvá. Ebből a beton külső kérgében gipsz keletkezik, amely növeli a betonkéreg tömörségét, csökkenti a vízfelvételét, de – különösen kisebb szilárdság esetén – a felületi réteg szétmorzsolódását eredményezheti.

A nitrogénvegyületek közül legfontosabb a nitrogén-dioxid (NO_2) és a nitrogén-monoxid (NO), szokásos együttes jelölésük: NO_x. Ezek a légkörben salétromossavvá, majd salétromsavvá alakulnak. Az emberi tevékenység (tüzelőanyagok égetése, közlekedés, műtrágyaipar stb.) a levegőbe kerülő nitrogén-oxidok kb. 37 %-át okozza.

Ezekkel az oxidokkal ellentétben a légkörben ugyancsak előforduló ammónia (NH_3) bázikus vegyület. A természetes forrásokon kívül ez a szennyezőanyag főként állattenyésztő telepekről és műtrágyagyárakból kerül az atmoszférába.

A légkört szennyező egyéb gázalakú anyagok (fluor, hidrogén-fluorid, klór, hidrogén-klorid) jelentősége az előbbieknél kisebb.

A szén-dioxid (CO_2) nem sorolható a szennyező anyagok közé, a levegő nélkülözhetetlen alkotója. A beton karbonátosodásával azonban számolni kell.

A szén-dioxid a nedvesség hatására kétféleképpen oldódik:

-kémiailag: $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$ (szénsav)

-- fizikailag, azaz a keletkező szénsav mellett mint gáz beoldódik a vízbe. Ez utóbbi az ún. agresszív szénsav, amelynek mészkő- és szilikát-oldó képessége igen nagy.

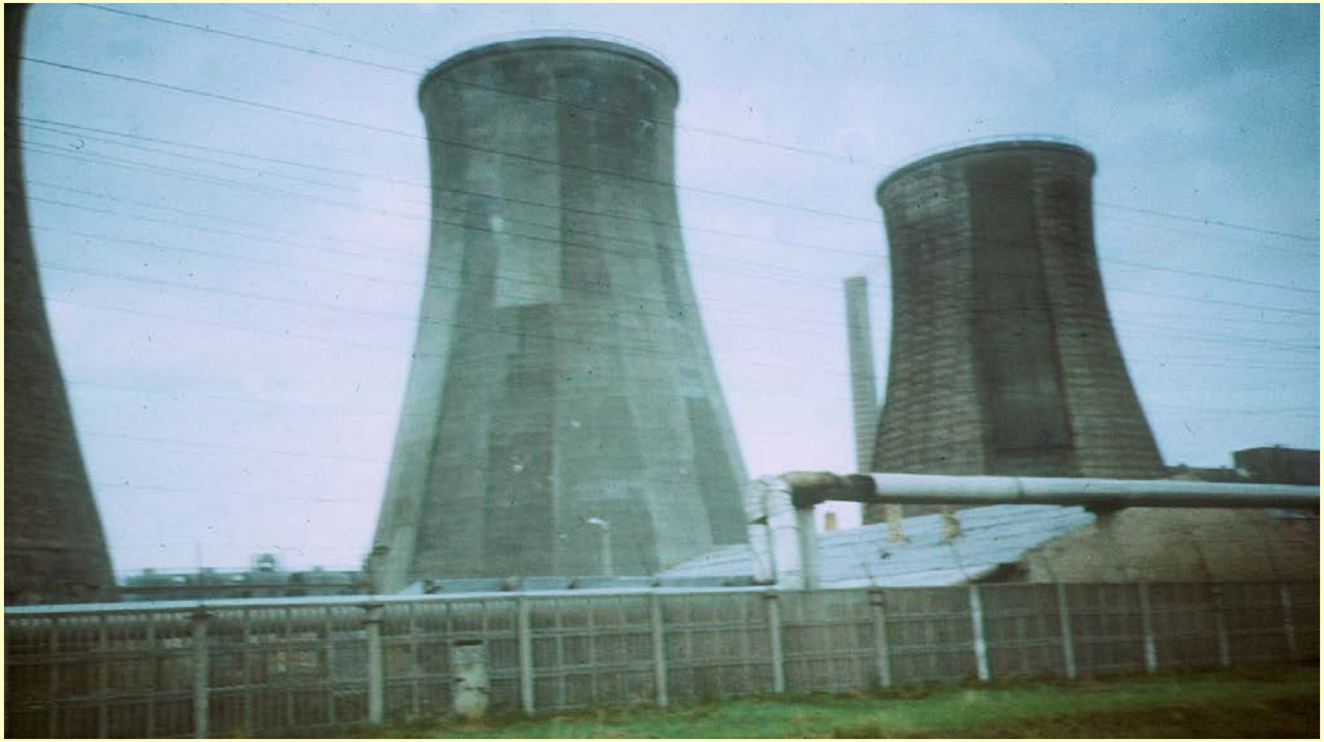
Ezért manapság a felületi betonrétegek porozitása fokozott mértékben nő, a pH csökkenés fokozódik, és gyorsan eléri a betonacélok mélységét. Ezt általában az ún. savas eső hatásának tulajdonítják. E hatáshoz hozzájárulnak az egyéb savas jellegű gázok, illetve aeroszolok, így nagy jelentősége van a levegő kén-dioxid és az összefoglaló néven jelzett NO_x nitrogén-gázoknak is, amelyek mészlekötő és oldó hatása rendkívüli. A vasbetonban ezek az anionok a szövetszerkezetbe ágyazódnak, és ott másodlagosan is károsítják az acélt, illetve a cement kötőanyagot. Pl. a szulfátionok az ún. másodlagos ettringit létrejötte folytán szétrombolják a cement kötőanyag vázát. (*Dr. Kovács Károly:* „35 éves az ÉMI", 1998. pp. 28-30.)



Vasbeton hűtőtorony

A természetes szellőzésű, nedves üzemű hűtőtornyok a kb. 40 °C hőmérsékletre felmelegedett ipari hűtővizek 24-30 °C hőmérsékletre való hűtésére szolgálnak.

Magasságuk meghaladhatja, alsó átmérőjük megközelítheti a 100 m-t.



A vasbeton hűtőtornyok nemcsak méreteik, hanem funkciójuk által is jelentős korróziós veszélynek vannak kitéve.

A kürtő levegőjének relatív nedvességtartalma 100%. A torony felső részén elsősorban a gőzből kondenzálódott lágy víz támadja a betont: lágyvíz-korróziót okoz, a beton pH-értéke lecsökken és megváltozott struktúrája a *betonacél*-korróziót is elősegíti. Ha a hűtővíznek szulfátion-tartalma is van, akkor az elragadott és lebegtetett vízcseppekből lecsapódott víz elsősorban a kürtőfal alján okoz szulfátkorróziót: a cementalkotó kalcium-aluminát-hidrátok duzzadó kalcium-szulfoaluminát-hidráttá alakulnak.



Szennyvíz ülepítő vasbeton medence

A szennyvíz tele van kén vegyületekkel (ettől büdös). A vasbeton medencék, csatornák szennyvíz feletti belső felületén bacilusok tenyésznek.

A bacilusok a szennyvízben lévő kén vegyületek elégetésével tartják fenn szervezetüket, és eközben kén-dioxidot (kénsavat) termelnek. A bacilusok által termelt kénsav szétmarja a medencék és csatornák szennyvíz feletti betonfalát.

Ezért ezeket a felületeket általában vékony saválló bevonattal szokás védeni a mikrobiológiai korróziótól.

A korrózió veszélyt *nagy kohósalak tartalmú cementekkel* (CEM III) is csökkenteni lehet, mert azok a jobb szulfátállóság mellett jobb korrózió-állósággal is rendelkeznek, mint a portlandcementek.



Előregyártott vasbeton villamos vasúti lemezalj

közúti forgalomnak is kitett úton

A közúti előregyártott pályaburkolati elemek (más néven villamos vasúti lemezaljak) általában eruptív zúzottkő adalékanyagú, C30/37 nyomószilárdsági osztályú, fokozottan kopásálló, igen fagyálló vasbetonból vagy feszített vasbetonból készültek. (A *Beton- és Vasbetonipari Művek Budapesti Gyára* gőzöléssel gyártotta az 1980-as években). Sok helyen ma is részét képezik a városi közúti útburkolatnak, így rajtuk a téli gépkocsi forgalmat olvasztósó szórással biztosítják.

A betonba szivárgó és a felületen lévő sóoldat többféleképpen is kifejti korrozív hatását. A beszivárgó klorid a betonacélt korrodálja, ez térfogat-növekedéssel jár, a betont repeszti, és vasszakadáshoz is vezethet.

A beton pórusaiban a túltelített klorid-oldatból sókristályok válnak ki, amelyeknek szintén repesztő hatása van.

A sóoldat fagyáspontja a víznél alacsonyabb, ezért a beton felületi rétege 5-10 °C-kal lehűl, így ott húzófeszültségek ébrednek, és repedések keletkeznek. A korróziót a hőmérséklet változások gyorsasága csak fokozza.

A tapasztalat az, hogy a közúti pályaburkolati elemek tömör szerkezetük ellenére sem mindig képesek az olvasztósó káros hatásának ellenállni. Teljes értékű védelmet valószínűleg az előrehaladott karbonátosodás, vagy a légpórusos beton alkalmazása sem nyújt. A légpórusos beton a fagy- és olvasztósó-állóság szempontjából ugyan feltétlenül előnyös, de általa a víz-, illetve a sóoldat-behatolás teljesen nem szűnik meg.

Az olvasztósó közúti hídjaink betonburkolatát és szegélyét is károsítja.

Az olvasztósó jégolvasztó hatásáról ide kattintva lehet olvasni.



A különleges feladatot betöltő, 100-200 m hosszú vasúti létesítmények (például **vasúti kocsi mosók**) vágányszakaszait előregyártott vasbeton pályaburkolati lemezaljakra vagy monolit vasbeton szerkezetre fektetik. E lemezaljak, illetve szerkezetek feladata, hogy a vasútüzemi vagy ipari vasúti pályát a létesítmény funkciójából adódó vegyi szennyeződéstől megóvják és az üzemi szennyvizet a pályaelemet szegélyező ugyancsak előregyártott vasbeton csatornába vezessék. A lemezalj beton nyomószilárdsági osztálya C25/30 volt.

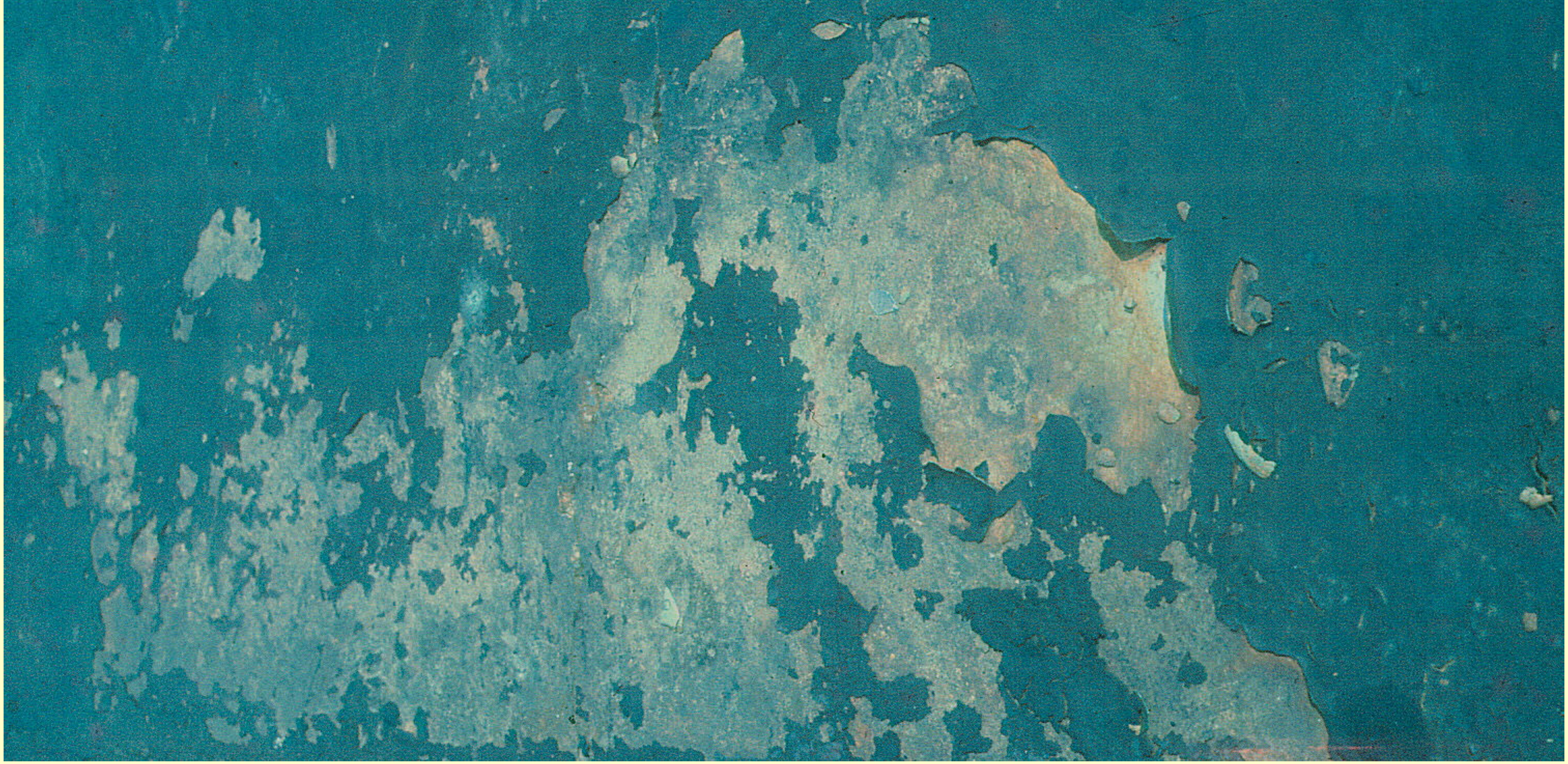
A vasúti pályaelemet érő korróziós közeg a létesítmény funkciójától függően többféle lehet. Korróziós közeg lehet a gyengén lúgos kémhatású ammónium-hidroxid mellett az ammónium-nitrát, amely a portlandcementre a salétromsav sói közül a legagresszívebb.

Az ammónium-nitrát ugyanis vízben erős lehűléssel oldódik, így hősokkot is okoz, és az erős savgyökű és gyenge bázisanhidridű oldat a hidrolízis folytán a betonra kedvezőtlen savas kémhatású.

A lemezalj felülete érintkezhet sósav-oldattal, amely a cement szabad meszével könnyen oldódó kalcium-kloridot képez, és amelynek romboló hatását csak fokozza, ha a napsütés hatására nyáron a beton felülete 60 °C hőmérsékletre felmelegszik.

Ilyen hatásokra nemcsak az előregyártott vasbeton pályalemez, a szegélyező korábban (sajnos csak!) C16/20 nyomószilárdsági osztályú monolit járdabeton, és a környező vasszerkezetek károsodnak, hanem még az epoxigyanta alapú, amin térhálósítójú oldószeres kétkomponenses vékonybevonat sem nyúlt tartós védelmet.

Vasúti kocsi mosó savmarta bevonatos beton felülete



Az ilyen hatásoknak kitett vasbeton és beton szerkezetek, valamint acélszerkezetek hatékony megelőző korrózió-védelmét az erre célra kidolgozott, változataiban savaknak, sóknak, lúgoknak ellenálló, speciális, oldószeres, epoxi műgyanta alapú, két-komponenses polimer vékony-bevonattal lehet megoldani. Részletek itt olvashatók.

Vasbeton zárványelemek veszélyes hulladék tárolására. 1987. Beton- és Vasbetonipari Művek Budapesti Gyárának gyártmánya.



A veszélyes hulladék tároló vasbeton zárványelemek a következő anyagok korrozív hatásának kell, hogy ellenálljanak: foszforsav, naftalin, alumínium-klorid, hexa-metil-tetramin, nátrium-dikromát, krómsav-anhidrid, hegesztőpor, nátrium-nitrát, nátrium-szulfát, réz-oxiklorid, réz-szulfát, kaprolaktám, kénes nátrium, hamuzsír, ammónium-klorid, savgyanta.

A megfelelő védelmet nyújtó bevonatról itt lehet olvasni.

Beton-adalékanyag reakciók

Kedvezőtlen körülmények között a beton-adalékanyagok reakcióba léphetnek a cementkővel. Ilyen adalékanyag reakciók:

- **alkáli reakció (szabatosan alkálifém-oxid reakció), amelynek alapvetően két változata van: az alkálifém-oxid – *szilikát* és az alkálifém-oxid – *karbonát* (dolomit) reakció.**

Az alkáli-szilikát reakció például a homokos kavics adalékanyagok kovasav tartalmú alkáli-érzékeny részecskéi (pl. opál, flint, grauwacke-homokkő) és az alkálifém-oxid dús cementek hidratációs termékében levő alkálifém-hidroxidok (NaOH, KOH) beépülési, vagy csere-bomlása.

Az alkáli-dolomit reakció során a dolomit adalékanyag kalcium-magnézium-karbonátja és a cementkő alkálifém-hidroxidja egymásra hatásából alkálifém-karbonát, magnézium-hidroxid (*brucit*) és kalcium-karbonát keletkezik.

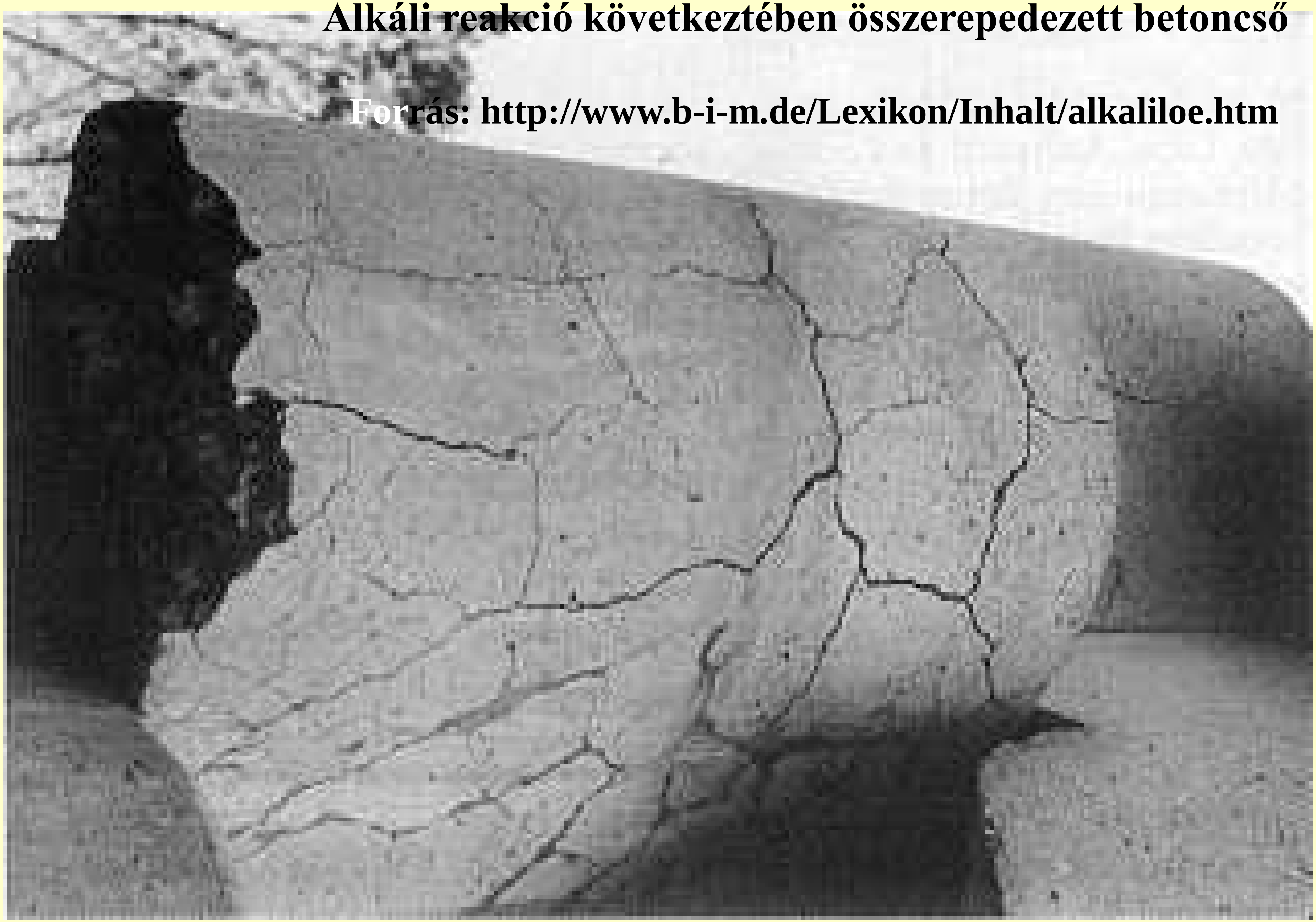
Az alkáli reakció kedvezőtlen körülmények (a cement nagy alkálifém-oxid tartalma; az adalékanyag hajlama alkáli reakcióra, nedves környezet, magas hőmérséklet) hatására lép fel, térfogat-növekedéssel jár, a reakció jellegétől függően a beton felületén reakció-termékek jelenhetnek meg.

Az alkáli reakció a beton összerepedéséhez, szilárdság-csökkenéséhez vezet. Kialakulásához hosszú évek kellenek. Az ilyen betont javítani nem lehet.

Az alkáli reakcióról részletesebben e mondatra kattintva lehet olvasni: http://www.betonopus.hu/notesz/alkali-reakcio/alkali-reakcio.pdf

Alkáli reakció következtében összerepedezett betoncső

Forrás: http://www.b-i-m.de/Lexikon/Inhalt/alkaliloe.htm

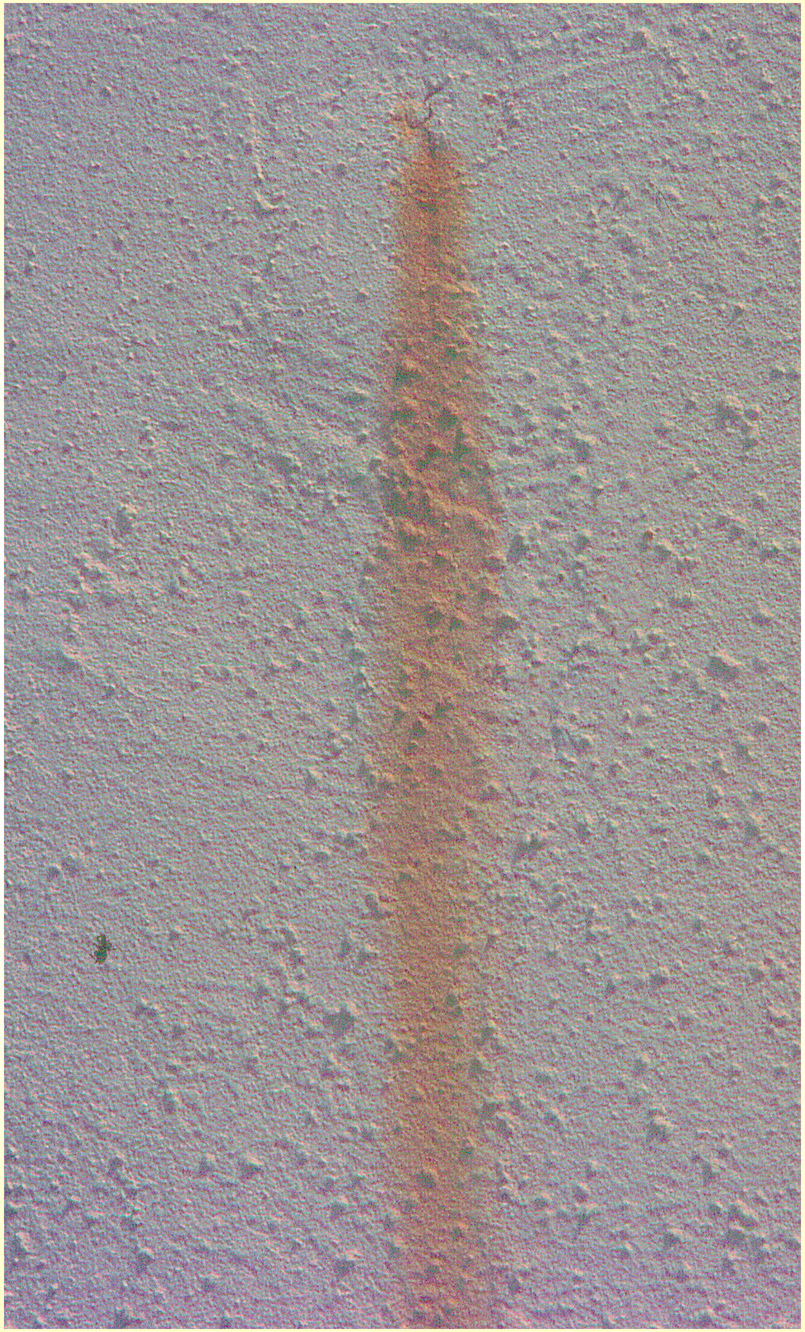


• **taumazit-reakció** **előszeretettel létrejön füstös, kénvegyületekkel és szén-dioxiddal szennyezett levegő hatásának kitett, eső verte betonokban. A hőmérséklet növekedésének hatására nem növekszik, hanem csökken a taumazit képződésének valószínűsége. Tizenöt fok alatt érzi a legjobban magát. Szerencsére a taumazit inkább csak esztétikai hibaként jelentkezik, zöldes fehér lepedéket képezve a beton felületén.**

A természetben is előforduló taumazit ásványt *Nordenskiold* skandináv kutató fedezte fel 1878-ban. Nevét a *taumazen* görög szóból nyerte, ami annyit jelent, meglepődni.

A taumazit összetett vegyület, amelyben szinte minden megtalálható, ami a cement szilárdulásakor keletkezik. Ennek alapján elvárhatnánk, hogy legyen szilárdsága. Azonban szilárdsága nincsen. Előfordulásáról az építőiparban először az amerikai Autóút Kutató Tanács egyik jelentésében tesznek említést. Egy hulladékégető kéményének tönkrement habarcsanyagában mutatták ki 1965-ben.

Forrás: *Révay Miklós*: „Kis magyar cementkémia”, Beton. IX. évf. 2001. 6. szám, pp. 6-7.
***Révay Miklós*: A taumazit-szulfátkorrózió. Építőanyag. 58. évf. 2006. 2. szám. pp. 47-53.**



Pirit szemekkel szennyezett folyami homokos kavics adalékanyaggal készített, előregyártott vasbeton falpanel

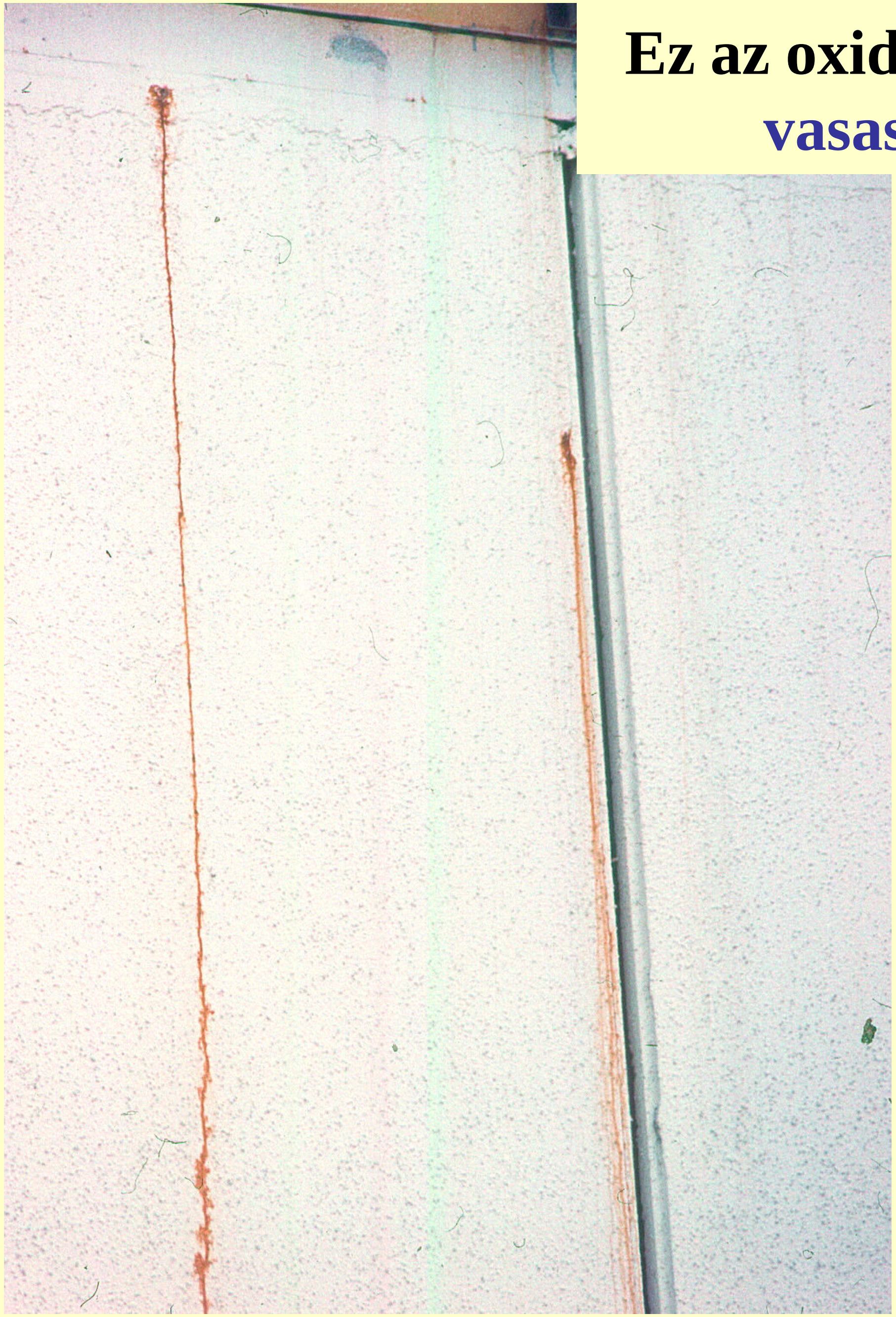
A pirit a Duna érc-vidéki mellékfolyóiból kerülhet a Duna medrébe, illetve a homokos kavicsba.

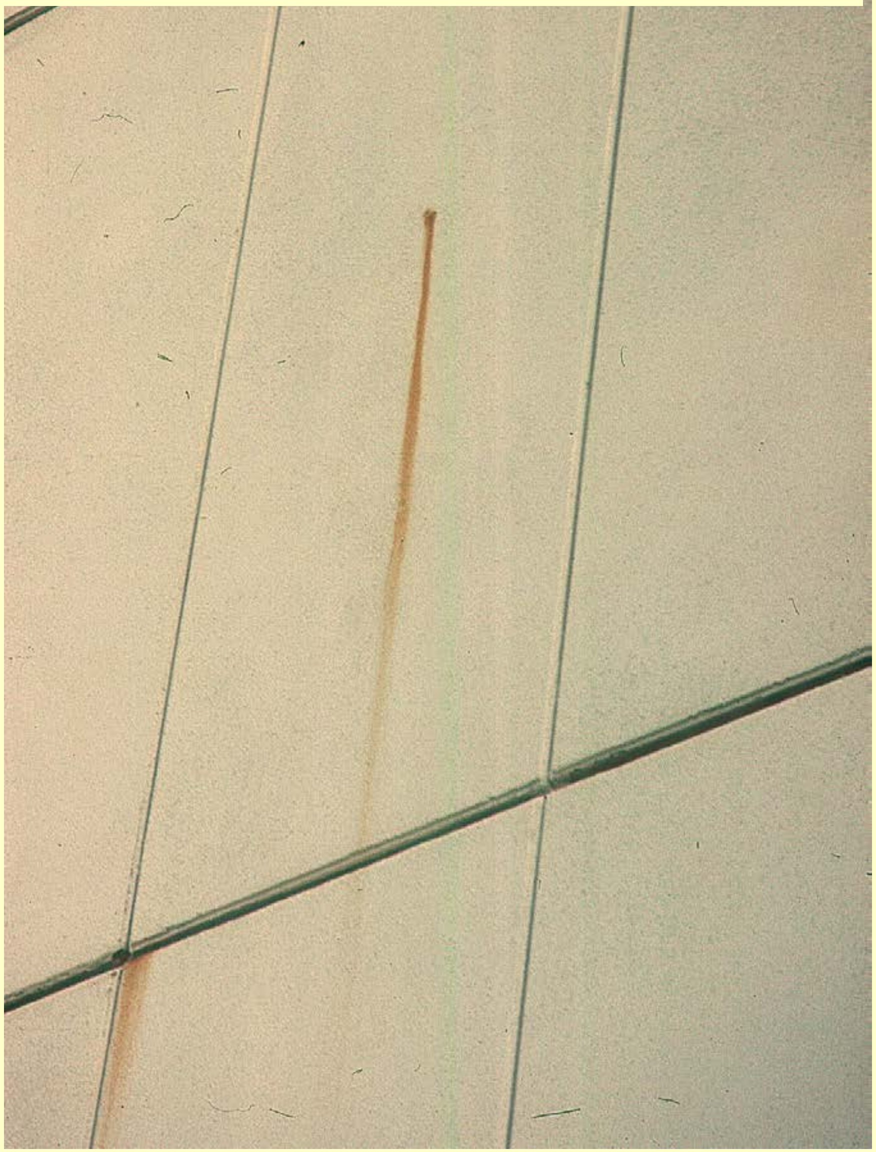
A pirit vasat és ként tartalmazó ásvány, vas-diszulfid, képlete: FeS_2.

A levegő, illetve a környezet nedvesség tartalmának hatására a levegő oxigénje szulfáttá oxidálja, vasszulfát és kénessav (H_2SO_3), majd kénsav (H_2S0_4) keletkezése mellett, amely erős sav:

$$2 \cdot FeS_2 + 2 \cdot H_2O + 7 \cdot O_2 = 2 \cdot FeSO_4 + 2 \cdot H_2SO_4$$

Ez az oxidáció a beton felületén jellegzetes vasas elszíneződést eredményez.









Acélgyártási salak adalékanyag reakciója

(Az acélgyártási salak nem tévesztendő össze a nyersvasgyártási kohósalakkal!)

Az acélgyártási salakban vannak (lehetnek) olyan részek, amelyeket a víz megtámad. Ilyen a szabad *magnéziumoxid* is, ásványtani nevén a periklász, közeli rokona a mésznek, és addig nem nyugszik, amíg be nem oltódik, magnézium-hidroxiddá, *brucittá* át nem alakul. (A brucitról az alkáli-dolomit reakció kapcsán már hallottunk.)

Közben térfogatát több mint kétszeresére növeli, lassan, évek alatt, amikor már szilárd a beton, amelyet megrepeszt.

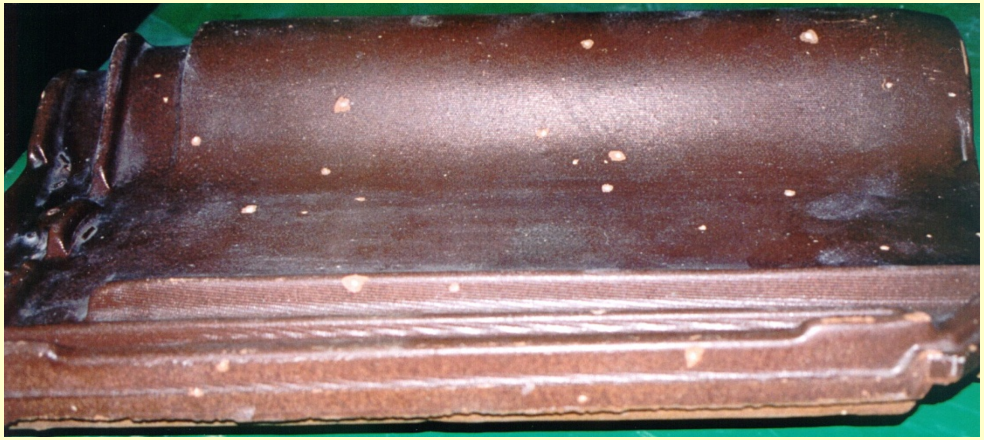
A jelenség az acélgyártási salak hosszú éveken át való pihentetésével előzhető meg. Ilyenkor ugyanis a periklász még a beépítés előtt beoltódik, brucittá alakul, és betonban vagy habarcsban már nem duzzad tovább. Az óvatosság ennek ellenére sem árt, inkább kerüljük az acélgyártási salak beton-adalékanyagkénti alkalmazását.

Emlékezetes, hogy az 1990-es években Ózdon nem voltak elővigyázatosak, és az Ózdi Martin acélsalak beton-adalékanyagkénti használatával épült csaknem 600 családi ház összerepedezett, tönkrement.

Az **acélgyártási salak duzzadás** folyamata **kísértetiesen hasonlít a szabad mész-duzzadásra**, amely a cementben lévő néhány szabad kalcium-oxid (égetett mész) vagy kalcium-magnézium-oxid (égetett dolomit) részecske kissé megkésett beoltódása a habarcsban vagy a betonban. A kőművesek „mészkukacnak" nevezik.

Ez a jelenség ekkor következhet be, ha a cementgyártási nyersanyagból keletkező oxidokat jóval a bomlási hőmérséklet felett égetik (ez a mészkőnél kb. 900 °C, a dolomitnál pedig 600 °C). Így a cement nyersanyag keverék klinkerré égetésekor (1400-1500 °C) a mész legalább 500 °C, az acélgyártáskor a dolomitból keletkező magnézium-oxid pedig 1000 °C túlégetést kap, és az égetés során keletkező klinker ásványokba (trikalcium-szilikát, dikalcium-szilikát, trikalcium-aluminát, tetrakalcium-aluminát-ferrit stb.) nem minden kalcium-oxid vagy magnézium-oxid részecske épül be, hanem CaO vagy MgO alakban szabadon marad.

„Mészkukac" cserépen



Forrás: *Révay Miklós:*
Kis magyar cementkémia.
Cementipar. 2001. június.

Betonkorrózió típusai

„A” típusú korrózió: kilúgozási korrózió, cserebomlási korrózió;

„B” típusú korrózió: savkorrózió, lúgkorrózió;

„C” típusú korrózió: térfogat-növekedést okozó kémiai reakciók, térfogat-növekedést okozó kristályosodás;

„D” típusú korrózió: szerves vegyületek által okozott korrózió.

Betonkorrózió elleni védekezés módjai

Aktív védekezés: környezeti agresszivitás megszüntetése vagy csökkentése;

Passzív védekezés:

- **agresszív hatásoknak ellenálló beton készítése (tömör szövetszerkezet, vízzáró beton, megfelelő cement és adalékanyag alkalmazása stb.),**
- **vízzáró felületi réteg kialakítása (vízzáró cementvakolat, vízüveg bevonat, fluátozás, okratálás, bitumenes bevonat, műgyanta bevonat),**
- **sav- és lúgálló burkolólapokkal való burkolás.**

•**Forrás: *Balázs György*: Építőanyagok és kémia. Tankönyvkiadó, 1984.)**

Köszönöm a szíves figyelmüket…

